中国生态农业学报 2016 年 7 月 第 24 卷 第 7 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Jul. 2016, 24(7): 957−968

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.151225

怀来县土地利用格局的影响因子分析*

田 超[1] 杨金泽[1] 石博安[1] 张 杰[2] 邱 瑞[2] 王观湧[1] 陈亚恒[1,2]**

(1. 河北农业大学资源与环境科学学院 保定 071000; 2. 河北农业大学国土资源学院 保定 071000)

摘 要 河北省怀来县作为北京首都及北方重要的生态屏障, 其土地利用格局不仅与县域土地资源利用有直接关系, 也对周边土地生态的可持续发展有一定影响。土地利用变化研究中驱动机制是重点, 揭示这种机制的关键是能否正确认识土地利用景观格局和影响因子之间的关系。本文以怀来县为研究区, 在遥感技术的支持下, 解译了 1994 年、2004 年和 2014 年的土地利用数据, 并从社会经济因素和自然因素中选取平均高程、地形起伏度、年均降水量、温度季节性、距道路距离、距城镇中心距离、GDP 密度和人口聚集度共 8 个因子, 结合景观格局梯度分析和 CCA 分析方法, 对土地利用景观格局和影响因子之间的关系进行研究。得出结论: 2014 年怀来县土地利用景观的蔓延度指数、散布并列指数、香浓多样性等存在明显的空间差异, 均在东西方向及南北方向表现出一定的梯度特征; 东西轴线和南北轴线方向上, 蔓延度指数呈两端高中间低的趋势, 而散布并列指数、香浓多样性、香浓均匀度则与之相反。平均高程和人口聚集度对研究区土地利用景观类型的分布影响较大, GDP 密度的影响较小; 1994 年、2004 年和 2014 年 4 个排序轴上累积土地利用类型数据与影响因子的解释量依次为 99.1%、99.3%以及 99.3%, 特征值总量分别为 0.780、0.720 和 0.853, 从解释量数值上看 2014 年的特征值明显高于前两个时期, 其在描述土地利用类型与影响因子关系上体现出优越性; 影响因子中的地形起伏度、温度季节性、年均降水量、距道路距离和距城镇距离与研究区土地利用景观类型分布的相关性较大, 相关性系数相对较高; 随着研究时间的推移, 地形起伏度相关性逐渐减小, 其他 4 种影响因子的相关性逐渐增大。通过此项研究, 揭示了怀来县土地利用变化的原因, 并为土地利用的可持续发展提供了理论依据。

关键词 景观格局 土地利用 驱动机制 社会因素 自然因素 怀来县
中图分类号: F301 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2016)07-0957-12

Analysis of landscape pattern and affecting factors in Huailai County*

TIAN Chao[1], YANG Jinze[1], SHI Bo'an[1], ZHANG Jie[2], QIU Rui[2], WANG Guanyong[1], CHEN Yaheng[1,2]**

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China;
2. College of Land Resources, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

Abstract Huailai County of Hebei Province is an important ecological barrier protecting Beijing (the capital city) and the northern region. The land use pattern in Huailai not only directly affects the use of land resources but also critically influences sustainable development of the surrounding ecosystems. The goal of this research was to correctly understand the relationship between the landscape pattern and the driving factors of land use in the region for determination of the driving mechanism of land use change. Using remote sensing technology, the land use data of Huailai County in 1994, 2004 and 2014 was interpreted to find landscape pattern of land use. Then, eight driving factors were selected among a range of socioeconomic and natural factors, which were average height, relief, annual rainfall, temperature seasonality, distance from road, distance from downtown, GDP density and population density. Gradient analysis of landscape pattern and CCA were used to analyze the

* 河北省住建厅研究项目"生态宜居城市土地利用格局配置研究"和国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2005CB121107)资助
** 通讯作者: 陈亚恒, 主要从事土地评价、土地开发整理、土地规划等方面的研究和教学工作。E-mail: chenyaheng@126.com
田超, 研究方向为土壤与土地资源利用。E-mail: 951500674@qq.com
收稿日期: 2015−11−19 接受日期: 2016−02−01

* Supported by the Project of Hebei Provincial Department of Housing "Livable City Land Use Pattern Configuration" and the National Basic Research Program of China (2005CB121107)
** Corresponding author, E-mail: chenyaheng@126.com
Received: Nov. 19, 2015; accepted Feb. 1, 2016

relation between landscape patterns of land use and the selected socioeconomic and natural factors, and to distinguish the main driving factors. The landscape indexes, such as spread degree, interspersion-juxtapostion index, Shannon's diversity index and Shannon's evenness index, in 2014 of the study area showed obvious gradient difference along east-west and north-south directions. Spread degree was higher in the middle and lower in the two ends, while other three indexes showed contrary tendencies. The average height and population density were the leading factors driving the distribution of landscape patterns of land use in the research area, while the GDP density was the minimal factor. The cumulative explanation values of impact factors of land use type for 1994, 2004 and 2014 were 99.1%, 99.3% and 99.3% and with the corresponding total characteristics of 0.780, 0.720 and 0.853, respectively. Based on the explanation values, the value for 2014 was obviously higher than those for preceding two years. This suggested that 2014 was had advantages in terms of explaining the relation between landscape patterns and the driving factors of land use in the study area. The driving factors, including relief, temperature seasonality, annual rainfall, distance from road and distance from downtown, were significantly related with the distribution of landscape patterns of land use in the research area. As time passed by, the correlation between landscape patterns and relief decreased, while those between landscape patterns and the other 4 driving factors increased. The above analysis revealed the reasons behind land use change in Huailai County, providing evidence of land resources sustainable development in the study area.
Keywords Landscape pattern; Land use; Driving mechanism; Social factor; Natural factor; Huailai County

土地作为一种资源，是支撑人类生产、生活最基本的物质条件。然而，随着人类经济水平的不断提高，人类活动干扰造成了土地资源的不合理利用，土地的覆被格局也随之发生了巨大变化，这种变化不但改变了陆地上的生物多样性，而且对全球的生物化学循环、大气循环都有着深远的影响[1]。研究过程中发现，土地生态本身就受自然条件的制约，再加上社会经济发展过程中的人为破坏以及不合理的利用方式，不仅使其产生的问题越来越多，而且出现的频率也越来越快，并直接影响着土地生态系统服务功能的变化[2]。而且，土地资源的类型比例、强度和类型的变化速率是引起生态系统面积、类型以及格局变化的重要原因，同时也对生态系统中的物质循环、能量流动以及生物多样性等都有着巨大影响[3]，并且在一定程度上决定着生态系统的健康指数和发展水平。

自国际地圈–生物圈计划(International Geosphere-Biosphere Program, IGBP)和全球环境变化国际人类规模方案(International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, IHDP)联合提出土地利用/覆盖变化(Land-Use and Land-Cover Change, LUCC)研究计划以来，利用 GIS 与 RS 技术已经成为当前国际上开展土地利用变化研究的最新趋势。RS 技术的广泛应用为土地利用时相性变化研究提供了有力的支撑，为揭示土地利用变化的时空格局特征提供了具有可比性的框架；GIS 技术则是时间动态模拟与空间格局分析的结合，集成了多种统计与空间分析方法，在区域 LUCC 系统过程模拟与空间格局分析中发挥十分重要的作用。国内对景观格局动态的分析始于 20 世纪 90 年代初，研究受北美学派影响很大。从研究方法看，采用景观指数法来定量研究景观格局的工作基本都采用了 GIS、统计分析模型等先进手段，并在不同区域、尺度上取得一些成果[4]。王宪礼等[5]将美国景观生态分析的方法引入我国研究城郊景观，对沈阳西郊景观格局变化进行研究，并提出了景观空间分析的框架。王思远等[6]利用 1∶10 万中国土地利用数据库建立空间分布格局数据库，分析了近 10 年中国土地利用格局及其演变；田光进等[7]利用 TM 影像和 GIS 技术对河北省农村居民点景观特征进行研究等等。所以，将遥感技术运用到土地利用分析领域，不仅填补了土地利用分析方法的空白，也大大提高了分析结果的准确性。

随着卫星遥感技术和空间信息系统技术的发展，地学界对地球陆地表面的空间特征和现代过程的研究由于得到了完整的数据支持而进入了定量化研究，大多数的研究多是将数据统计和 GIS 相结合，进行定量的分析，其结果在深度和精度方面都明显不足，不能有效解决研究区土地利用的实际问题。本文在遥感技术的支持下，运用典范对应分析方法和分形理论，探讨研究区土地景观结构及其演化特征，定量研究河北省怀来县土地利用景观格局与影响因子之间的相互关系，探讨不同影响因子对研究区土地利用景观格局的影响程度。根据研究成果，不仅可以有针对性地保护珍贵的土地资源，更可以高效、合理地利用土地资源。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

怀来县地处河北省西北部，张家口市东南部，境

内多为山地, 东经 115°16′~115°58′, 北纬 40°4′~ 40°35′ (图 1)。全县总面积为 1 782 km^2, 辖沙城镇、土木镇、新保安镇、北辛堡镇、大黄庄镇、官厅镇、桑园镇、小南辛堡镇、存瑞镇、西八里镇和东花园镇 11 个镇, 王家楼、瑞云观、孙庄子、狼山乡、鸡鸣驿、东八里 6 个乡, 以及 279 个行政村[8]。该县的地貌形态主要是平原、丘陵和山地等, 并且南北两地均有群山连绵起伏, 两山之间更有"V"型盆地景观。气候受冷空气较严重, 并且天气多变、夏季雨水较多、日照充足适合作物的生长[9]。该县的经济增长方式多样, 实力不断增强, 根据统计, 2010 年全年地区生产总值完成 865 000 万元, 相对上一年增长 15.7%, 其中, 第一产业增加 116 335 万元, 增长 13.8%; 第二产业增加 280 945 万元, 增长 19.8%; 第三产业增加 467 720 万元, 增长 14.1%。

1.2　数据来源与处理

本文的数据均来自中国科学院国际数据中心, 并通过对查阅资料和影像图的分析, 在 TM 的 7 个波段中, 选择 TM5、4、3 波段, 其成图像上植被的信息十分完全[10]。根据实际的需要和情况选用了 3 期影像数据资料为 Landsat-TM 卫星数据, 成像时间为 1994 年 9 月、2004 年 9 月和 2014 年 8 月, 如表 1。

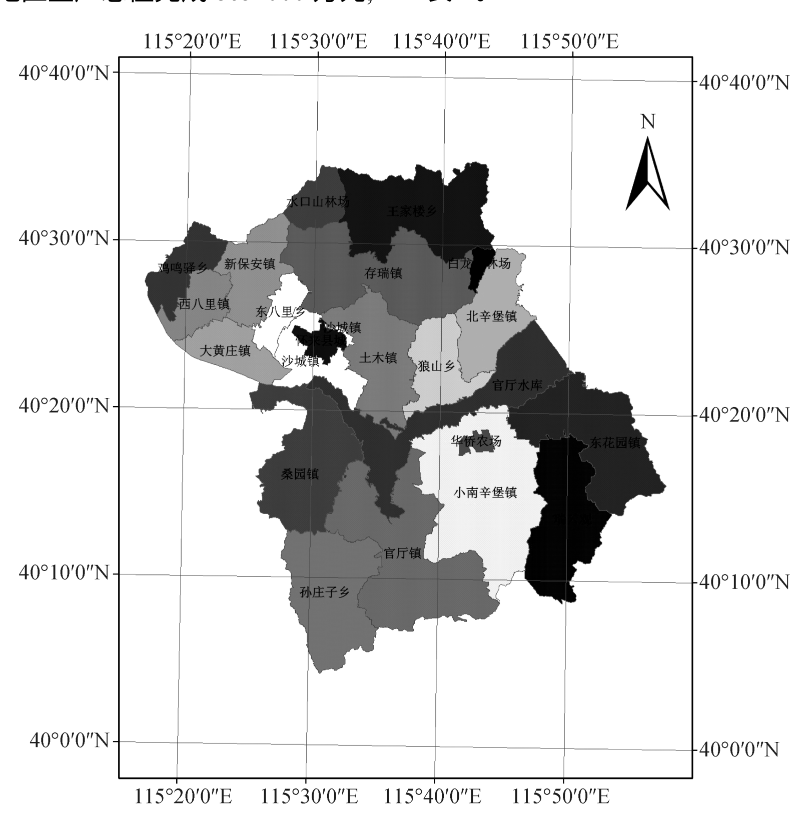


图 1　怀来县地理位置图

Fig. 1　Geographical location map of the Huailai County

表 1　1994 年、2004 年和 2014 年怀来县土地利用类型面积

Table 1　Areas of different land use types in Huailai County in 1994, 2004 and 2014

土地利用类型 Land use type	1994 Year 1994		2004 Year 2004		2014 Year 2014	
	面积 Area (hm^2)	比例 Proportion (%)	面积 Area (hm^2)	比例 Proportion (%)	面积 Area (hm^2)	比例 Proportion (%)
耕地 Cultivated land	31 854.29	17.87	29 772.99	16.70	24 441.60	13.71
园地 Garden plot	28 257.17	15.85	28 455.62	15.97	33 904.01	19.02
林地 Woodland	49 893.39	27.99	50 500.28	28.33	52 718.30	29.58
建设用地 Land for construction	7 293.08	4.09	9 688.67	5.44	13 914.56	7.81
水域 Waters	8 999.34	5.05	6 353.18	3.56	5 328.14	2.99
未利用地 Unused land	51 934.83	29.14	53 461.36	30.00	47 925.49	26.89
合计 Total	178 232.10	100.00	178 232.10	100.00	178 232.10	100.00

经过对 3 个年份气候、交通等数据影像的解译，结合 GIS 的空间统计和分析功能，统计得到了 3 个时段的土地利用类型面积变化结果(表 1)，以及相应的景观指数变化情况(表 2)。再对其进行有关数量分析方法和分形理论，得出研究区土地景观结构及其演化特征。

表 2　1994 年、2004 年和 2014 年怀来县不同土地利用类型的景观指数

Table 2　Landscape indexes of different land use types in Huailai County in 1994, 2004 and 2014

景观指数 Landscape index	年份 Year	耕地 Cultivated land	园地 Garden plot	林地 Woodland	建设用地 Construction land	水域 Waters	未利用地 Unused land
斑块占景观面积比 Percentage of landscape patch	1994	17.87	15.86	27.99	4.09	5.05	29.14
	2004	16.70	15.97	28.33	5.44	3.57	30.00
	2014	13.71	19.02	29.58	7.81	2.99	26.89
最大斑块指数 Largest patch index	1994	5.25	2.65	12.25	0.82	4.37	10.71
	2004	4.95	1.69	12.42	1.36	2.83	10.69
	2014	2.54	4.27	13.39	3.52	2.53	5.45
景观斑块形状指数 Landscape shape index	1994	33.29	72.94	37.23	51.89	11.27	63.16
	2004	35.69	69.98	37.35	50.48	17.06	63.59
	2014	31.47	75.46	36.92	58.14	12.27	68.92
周长–面积分维数 Perimeter-area fractal dimension index	1994	1.26	1.39	1.32	1.31	1.42	1.33
	2004	1.27	1.38	1.32	1.30	1.45	1.33
	2014	1.27	1.39	1.31	1.32	1.43	1.35
散布并列指数 Interspersion-juxtaposition index	1994	74.45	82.49	35.38	78.98	82.99	73.00
	2004	70.68	82.45	34.33	78.44	75.83	77.14
	2014	59.68	85.20	43.87	74.02	86.18	74.86

1.3　研究方法

1.3.1　影响因子的选择

随着自然和社会经济复合系统的不断演变，以及人地之间的相互作用，土地景观格局出现了复杂的变化过程，而弄清这些变化的驱动因素，对预测景观格局的变化，以及制定优化方案具有重要意义。引起土地景观格局演变的驱动因素可以划分为自然因素和人文因素[11]。自然影响因子是具有影响作用的自然地理要素，这种作用一般影响在区域内景观格局的梯度特征，将其分类统计后分为水文要素、气候、气象状况和地貌要素等。人文影响因子从各种社会经济活动中进行选择，例如人口数量变化，改善农业生产条件、加大对自然资源的开发利用和城镇的发展等，这些影响行为首先会对区域内的土地资源和水资源产生影响，这种影响因时间和地域的不同而有不同程度的影响，并且造成区域内土地景观格局的空间分布变化[12]。

本文从研究目的和怀来县的实际情况出发，考虑到研究数据需要有可获取性和代表性，在自然影响因子中选取了 4 个评价指标，分别为温度季节性、年均降水量、平均高程和地形起伏度；人文影响因子也选取了 4 个评价指标，分别为距道路距离、人口密度、经济密度和距城镇距离。本文对选取的影响因子数据处理后，以样方为单位将影响因子和怀来景观格局进行排序分析，并且因为影响因子数据的分辨率不同，所以需要转换到同一尺度，即采用 3 km×3 km 网格尺度。影响因子数据的分辨率在其他方面也有不同，例如数据类型、存储结构以及空间分辨率等，所以需要采取不同的方法转换。

1)自然影响因子

本文在土地利用/覆被信息综合数据库中提取怀来县 DEM 数据，在 ArcGIS 软件中利用怀来县行政区进行掩膜裁剪，利用 ArcGIS 的空间分析功能，将分辨率为 30 m 的 DEM 数据转换成高程数据，并且分辨率为 3 km×3 km，每个 3 km×3 km 网格的高程数据为该网格内所有 30 m×30 m 栅格高程数据的平均数[13]。地形起伏度是指区域内最高海拔和最低海拔之间的高程差值，能够表达出地表状态的基本描述指标，本文运用栅格计算器获得地形起伏度数据，如下图 2 所示。

气候是对植被分布影响最大的因素，其影响程度与空间尺度的大小和考虑时间长短有关，在众多影响因子中，气温和降水变化影响最为明显；而人类活动可在短时间改变区域局部环境，造成人为干扰，影响景观格局的分布[14]。因此本文选择年均降水量、温度季节性两个指标反映怀来县的气候情况。温度季节性的计算公式为:

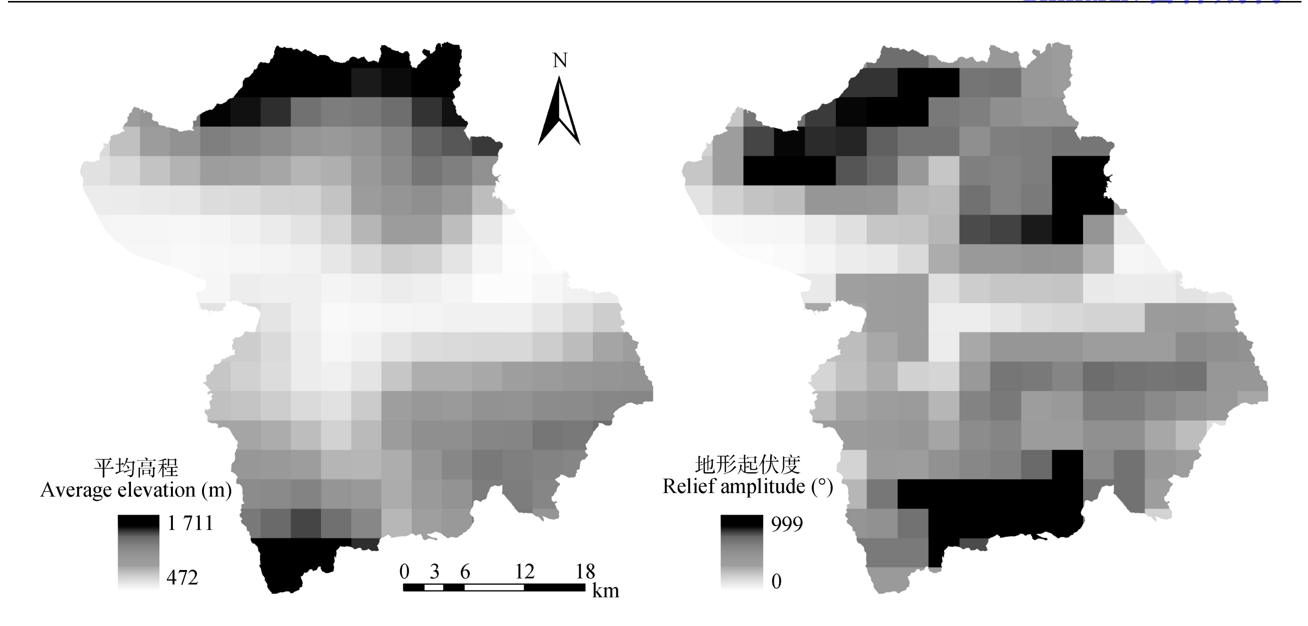


图 2　怀来县网格平均高程和地形起伏度
Fig. 2　Grids of average elevation and relief in Huailai County

$$ST=\sqrt{\frac{1}{12}\sum_{i=1}^{12}(\mathrm{MMT}_i-\mathrm{MAT})^2}\times 100 \quad (1)$$

式中: MAT 为年均气温, MMT_i 为各月平均气温[15]。应用 ArcGIS 软件中的栅格计算工具对的原始气象数据进行计算，得到相应尺度的温度季节性数据。年均降水量数据则通过 ArcGIS 对原始气象数处理直接提出获得。怀来县温度季节性和年降水量数据如图 3 所示。

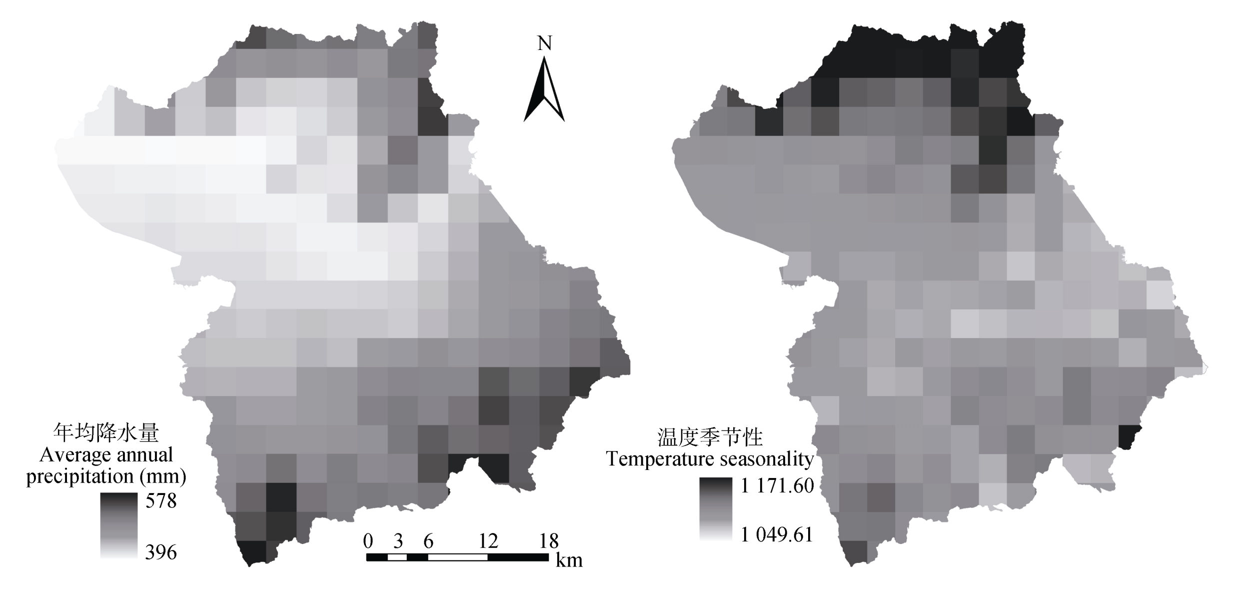


图 3　怀来县 **2014** 年降水量和温度季节性
Fig. 3　Grids of annual precipitation and temperature seasonality in Huailai County in 2014

2)人文影响因子

城镇中心和交通重要地段是研究区重要的区位特征，具有较强的吸引力，影响着土地景观格局，是土地景观格局变化重要的驱动因素[16]；并且距中心城镇近的区域和交通条件好的地区受到人为影响程度越大，对土地利用类型和景观格局的改变也就越大。本研究的研究数据均来自怀来县土地利用覆被信息综合数据库，并以此为基础，借助 ArcGIS 软件，使用分析工具对每一个网格中心到距最近中心城镇和道路的距离进行计算，结果如下图 4 所示。

人口聚集度是影响区域土地利用覆被状态和景观格局发生改变的重要人文因素[17]。参考谢花林等[18]研究成果，应用人口聚集度的计算公式测算怀来县人口聚集度，公式如下:

$$\mathrm{PGI}_j=P_j/n\times\lambda \quad (2)$$

式中: PGI_j 代表第 j 个居民点要素的人口估计值，P_j

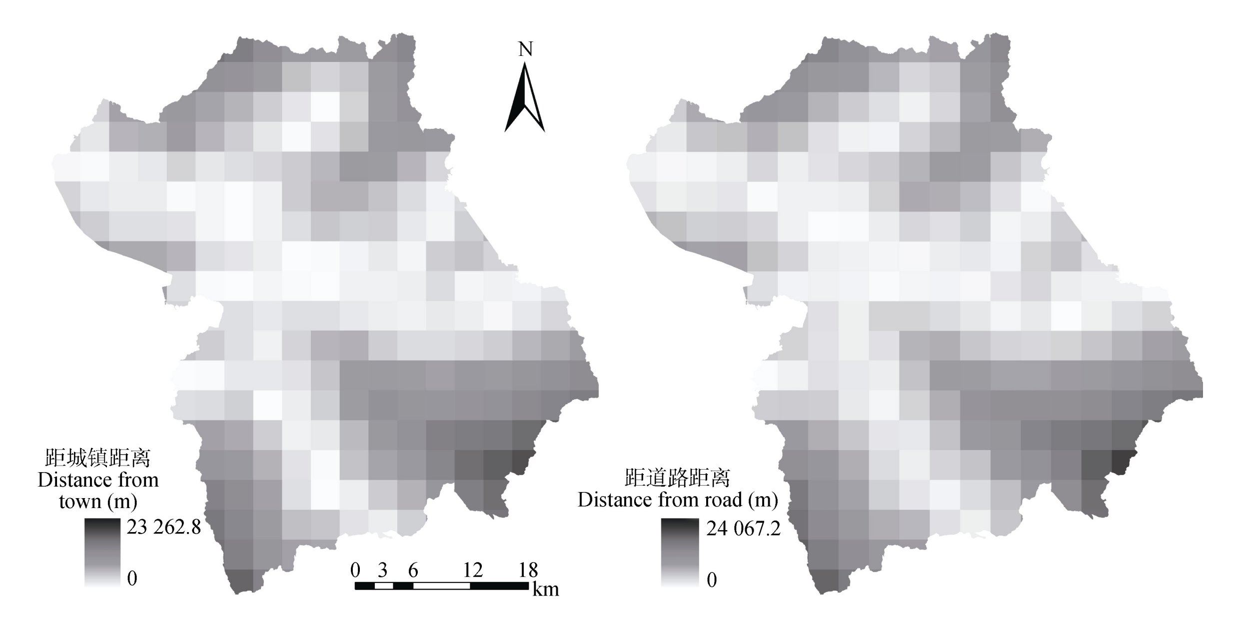


图 4 怀来县网格中心距最近城镇距离和距最近道路距离

Fig. 4 Distance from the nearest city (town) and distance from the nearest road of grid centers in Huailai County

代表 j 统计地域的人口总量, 代表 j 统计地域加和后的人口聚落总个数[19], λ 是根据城镇中心和道路距离大小经过反距离加权后的加权数。借助克里格模型插值自动生成人口聚集度表面模型(图 5)。

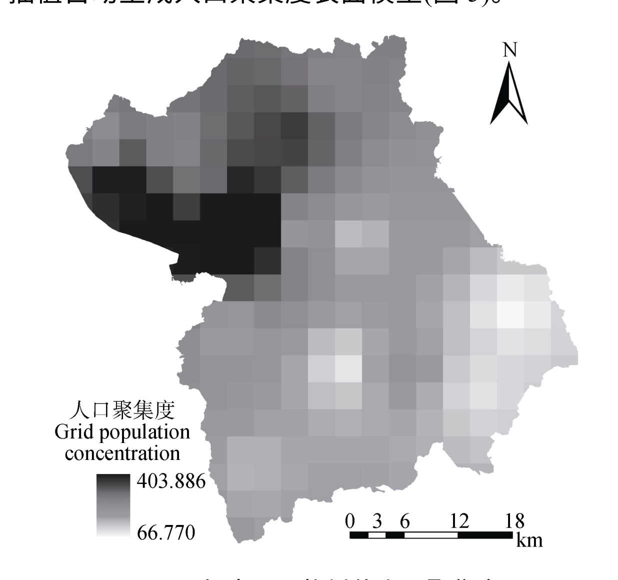


图 5 怀来县网格插值人口聚集度

Fig. 5 Grid interpolation of population concentration in Huailai County

土地景观格局发生变化的另一个主要因素是当地经济持续、高速地发展。本文选取 GDP 密度作为衡量经济发展的重要人文因素, 由于一般情况下 GDP 数据是离散的, 因此, 使用插值法获得未知数据区域的国内生产总值[20]。根据前人的研究成果可知样条法对于 GDP 密度较其他插值法更精确[21], 并且插值完成后的表面相对光滑, 因此本文应用 ArcGIS 选用样条插值法, 根据区域已知的 GDP 数据来估计规则网格点上的 GDP 数据(图 6)。

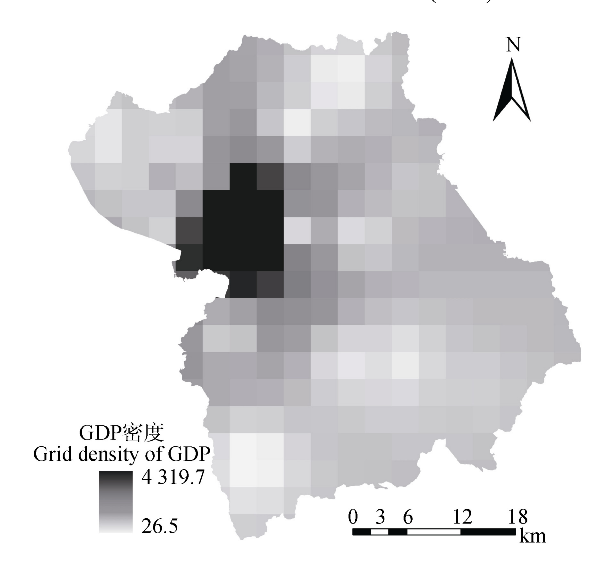


图 6 2014 年怀来县网格插值 GDP 密度

Fig. 6 Grid interpolation of GDP density in Huailai County in 2014

1.3.2 土地利用景观格局梯度分析方法

一定空间范围内的景观格局由于其组成的各景观类型的种类、数量、形状和空间分布形态不同而表现出明显的差异现象, 而对这种差异现象的分析和归纳往往可以发现其中包含的方向特性, 即景观格局的梯度性[22]。

本文通过 Arcgis 软件, 在前文景观指数计算的基础上, 绘制怀来县 2014 年景观水平指数的趋势线图(图 7)。从图中可以发现怀来县 2014 年景观的蔓延度指数、散布并列指数、香浓多样性等存在明显的空间差异, 即景观格局的梯度性[23]。整体上, 2014

年怀来县各景观水平指数均在东西方向及南北方向表现出一定的梯度特征。但是不同景观指数梯度变化特征不同，在东—西轴线方向和南—北轴线方向上[24]，蔓延度指数呈现凹型曲线即两端高中间低的趋势；而散布并列指数、香浓多样性、香浓均匀度则与之相反，在东—西轴线方向和南—北轴线方向上，呈现凸线趋势即中间高两端低的趋势，但是弯曲幅度存在差异[25]。

通过分析整体景观水平指数趋势线图(图 7)，可以发现其空间分布具有明显的规律性和梯度性，并且这种梯度分布是虽然具有特殊的属性[26]，但形成和其他地理现象一样，所以景观格局在空间上的分布规律以及梯度性的改变源于多种因素的影响，既有内在和外在因素的影响，也有直接和间接的影响。其中外部因素一般包括自然影响因素和人文影响因素两大类[27]。

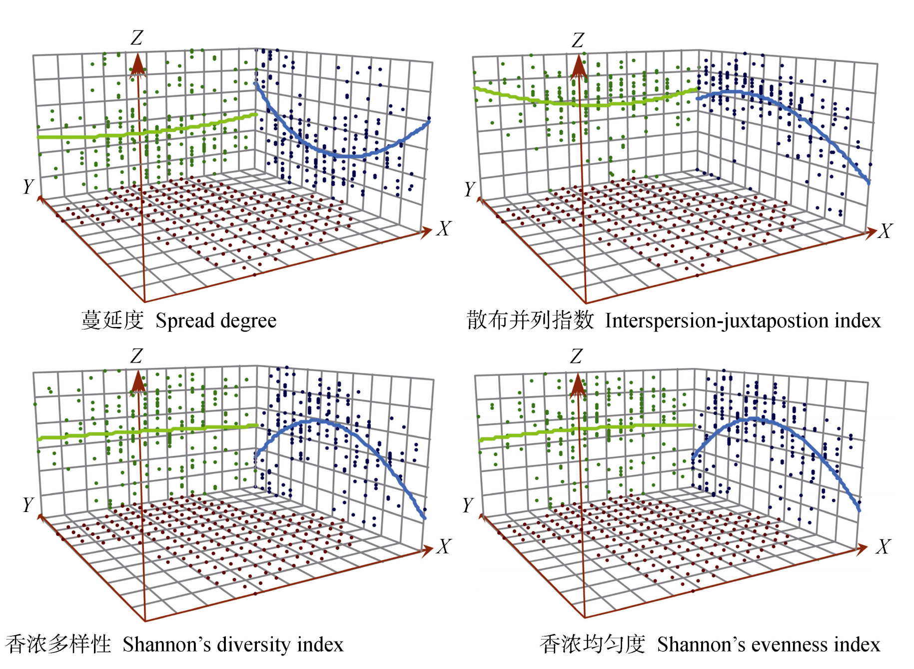


图 7　怀来县 **2014** 年土地利用景观水平指数趋势线图
Fig. 7　Trends of landscape level indexes of land use in Huailai County in 2014

1.3.3　排序分析方法

19 世纪 30 年代初，前苏联的科学家就对排序进行了定义，并且 Ranensky 给出了准确定义，在 20 年后，排序的概念不断完善，不仅可以对样方进行排列，对植物物种和环境因素也可以排列，并且这种方法适用于群落之间、群落与环境之间和群落与成员之间复杂的研究[28]。排序的主要方法是将需要研究的样方或者植物种在一定空间内进行排列，使其排列的排序轴能够反映出生态梯度，可揭示植被和植物种分布与环境因子间的联系。所以，排序可以表达出植物和环境的生态关系。这种排序的方法也称作梯度分析(gradient analysis)[29]。

迄今为止，排序的方法已琳琅满目，简单排序法是国际认可并且较新的方法，它主要包括加权平均排序、极点排序和梯度分析；其他常用的方法有主分量分析、对应分析和以此衍生的方法。

本文选择目前国际国内进行梯度分析的常用软件 Canoco 进行分析，先将需要分析的响应变量和解释变量通过模块转化为能够识别的数据类型，其中响应变量相当于因变量，解释变量相当于自变量，然后再分析响应变量数据分布类型，并确定出响应变量的分布模型，其中主要为线性模型和单峰模型；再根据数据分布特征和研究目的确定相对应的排序方法，运用所选择的排序方法进行分析。如果选择的排序方法分析效果不理想还需要重新选择其他方法进行排序，对结果进行对比；然后将最后的分析结果导入模块制作排序图，以便进行解释。为了更好地了解怀来县内土地利用景观格局形成的规律，对县域土地利用景观格局的分布情况进行排序和分析，以揭示各种自然影响因素和人文影响因素对景观格局区域分布梯度特征的具体作用[30]。

2　结果与分析

将怀来县 1994 年、2004 年和 2014 年 3 期遥感解译数据参照划分网格方法进行划分，将网格切割，从左至右，从上至下进行编号处理，形成研究区域

不同时段各205个土地利用类型样方。在Excel中，形成1994年、2004年以及2014年样方土地利用类型面积比例矩阵和样方影响因子矩阵。运用canoco 4.5软件中的WcanoImp软件模块将上述矩阵进行格式转化。

将转化后的1994年、2004年以及2014年样方土地利用类型面积比例矩阵导入canoco4.5软件中，进行DCA(除趋势对应分析)，除趋势的主要目的是消除拱形效应的影响，减少数据在第2轴位置中所受到的第1轴排列的影响。研究中一般通过4轴中最长的梯度值的大小判断所选模型的类型。如果第1轴梯度长度在4.0之上，那么选择CCA模型效果较好；如果第1轴梯度长度小于3.0，则适合使用RDA模型；第1轴梯度长度在3.0和4.0之间，两种模型都可选择。

表3所示，3个时期样方土地利用类型面积比例在第1排序轴上的梯度长度都大于4.0，因此选择典范对应分析(CCA)较为适合。以下的分析中，对景观类型与其影响因子采用CCA方法进行分析。

特征值是排序轴重要的指标，可以通过排序轴的特征值计算出土地利用类型数据方差以及土地利用类型与影响因子关系的解释量。由4表可见，从相关土地利用类型与影响因子相关系数可以看出，3个年度的土地利用类型数据排序轴与影响因子排序轴的相关性较大。经过研究3期的CCA排序，可以发现前面的4个排序轴上累积土地利用类型数据与影响因子的解释量依次为99.1%、99.3%以及99.3%，由此可见土地利用景观格局与影响因子关系的绝大部分信息都可以在前4个排序轴中得出。从解释量数值上看2004年和2014年优于1994年。同时，3期的特征值总量分别为0.780、0.720和0.853，2014年的特征值明显高于前两个时期，表明其在描述土地利用类型与影响因子关系上体现出优越性。

表3 怀来县不同时期土地利用类型面积解译排序轴梯度长度表

Table 3 Gradient lengths of ordination axes of interpretation areas of land use types in Huailai in 1994, 2004 and 2014

年份 Year	排序轴 Ordination axe 1	2	3	4
1994	4.649	2.906	1.526	1.823
2004	4.299	2.725	2.496	1.287
2014	4.099	2.628	1.821	1.206

表4 基于典范对应分析方法的不同时期怀来县土地利用类型与影响因子的关系表

Table 4 Relationship between land use type and it's impact factors in different years in Huailai County based on Canonical Correspondence Analysis (CCA)

年份 Year	项目 Item	排序轴 Ordination axe 1	2	3	4	合计 Total
1994	特征值 Eigenvalue	0.569	0.134	0.057	0.020	0.780
	土地利用类型与影响因子相关系数 Correlation coefficient between land use type and impact factor	0.904	0.581	0.368	0.509	—
	土地利用类型与影响因子解释量 Impact factor explain amount of land use type	72.2	89.3	96.5	99.1	—
2004	特征值 Eigenvalue	0.559	0.107	0.029	0.025	0.720
	土地利用类型与影响因子相关系数 Correlation coefficient between land use type and impact factor	0.905	0.537	0.394	0.336	—
	土地利用类型与影响因子解释量 Impact factor explain amount of land use type	77.1	91.8	95.9	99.3	—
2014	特征值 Eigenvalue	0.567	0.223	0.044	0.019	0.853
	土地利用类型与影响因子相关系数 Correlation coefficient between land use type and impact factor	0.910	0.744	0.396	0.349	—
	土地利用类型与影响因子解释量 Impact factor explain amount of land use type	66.0	92.0	97.1	99.3	—

2.1 不同时期土地利用类型与影响因子相关性分析

通过对图8a中1994的土地利用类型与影响因子CCA图和影响因子与排序轴相关系数的分析可以发现，在CCA排序第1轴主要反映了平均高程(0.804 1)、地形起伏度(0.613 3)、年均降水量(0.764 1)、温度季节性(0.617 7)、距道路距离(0.642 4)和距城镇距离(0.670 5)，而人口聚集度与GDP密度相关性相对较小，分别为–0.396 9和–0.315 0。沿第1轴从左到右，平均高程和地形起伏度逐渐增加，年均降水量增加，温度随季节的变化较大，距离城镇和主要道路的距离越来越远。CCA排序第3轴主要反映了平均高程(0.188 5)、人口聚集度(0.485 2)以及GDP密度(0.119 0)3个影响因子。沿第2轴从下到上，平均高程由低变高，人口聚集程度和GDP提高。第3

轴和第 4 轴所反映的影响因子不同, 其中地形起伏度(–0.244 3)同第 3 轴相关性较大。人口聚集度(0.140 4)和 GDP 密度(0.120 1)和第 4 轴相关性较大。

图 8a 可以看出, 第 1 轴主要代表平均高程的变化, 各土地利用景观类型随高程的增加, 林地和未利用地面积逐渐增加, 而且这两种土地利用景观类型与平均高程呈正相关且相关性逐渐增加。同时随着平均高程的增加, 耕地、建设用地、园地以及水域面积逐渐减少, 与平均高程呈负相关性。第 2 轴主要反映土地利用景观类型与人口聚集程度的关系, 随着人口聚集度提高而增加的土地利用景观类型为耕地和建设用地, 并且人口聚集度同这两种景观类型呈正相关。随着人口聚集度提高而减少的土地利用景观类型为园地、林地、水域和未利用地, 呈现出负相关关系, 并随人口聚集度增加, 负相关性逐渐提高。

此外, 在排序轴中, 空间距离相距较近的土地利用景观类型处于相似的环境中, 因此各土地利用类型之间的距离可以表示不同景观地类的分布差异性, 由图 8a 可知, 耕地和建设用地之间距离最近, 空间分布的差异性较小, 主要是由于耕地距离居民点较近便于耕作, 为居民提供粮食供给。

从图 8b 中 2004 年土地利用类型与影响因子 CCA 图和表 5 可知, CCA 排序第 1 轴主要反映了平均高程(0.803 0)、地形起伏度(0.601 2)、年均降水量(0.770 3)、温度季节性(0.622 7)、距道路距离(0.649 2)和距城镇距离(0.677 2), 而人口聚集度和 GDP 密度相关性相对较低, 分别为–0.398 5 和–0.3191。沿第 1 轴从左到右平均高程和地形起伏度逐渐增加, 年均降水量增加, 温度随季节的变化较大, 距离城镇和主要道路的距离越来越远。排序第 2 轴主要反映平均高程(0.166 4)、人口聚集度(0.4571)和 GDP 密度(0.146 3)。沿第 2 轴从下到上, 平均高程由低变高, 人口聚集程度和 GDP 提高。而地形起伏度、GDP 密度、距道路距离、距城镇距离与第 3 轴的相关性较大, 相关性系数分别为 0.209 1、0.191 2、–0.125 5、–0.111 6。地形起伏度与第 4 轴相关性较大, 相关系数为–0.153 6。

由图 8b 可知, 第 1 轴主要代表平均高程的变化, 各土地利用景观类型随高程的增加, 林地和未利用地面积逐渐增加, 而且这两种土地利用景观类型与平均高程呈正相关且相关性逐渐增加。同时随着平均高程的增加, 耕地、建设用地、园地以及水域面积逐渐减少, 与平均高程呈负相关性。第 2 轴主要反映人口聚集度与土地利用景观类型的关系, 随着人口聚集度提高而增加的土地利用景观类型为耕地和建设用地, 并且人口聚集度同这两种景观类型呈正相关。随着人口聚集度提高而减少的土地利用景观类型为园地、林地、水域和未利用地, 呈现出负相关关系, 并随人口聚集度增加, 负相关性逐渐提高。

结合图 8c 和表 5 分析可知, 2014 年 CCA 排序第 1 轴主要反映了平均高程(0.851 8)、地形起伏度(0.587 8)、年均降水量(0.769 3)、温度季节性(0.702 9)、距道路距离(0.689 0)和距城镇距离(0.712 4)。沿第 1 轴从左到右平均高程、地形起伏度、年均降水量逐渐增加, 年均降水量增加, 温度随季节的变化较大, 距离城镇和主要道路的距离越来越远。排序第 2 轴主要反映地形起伏度(–0.199 8)、年均降水量(0.107 1)、温度季节性(0.110 6)、人口聚集度(0.605 4)、GDP 密

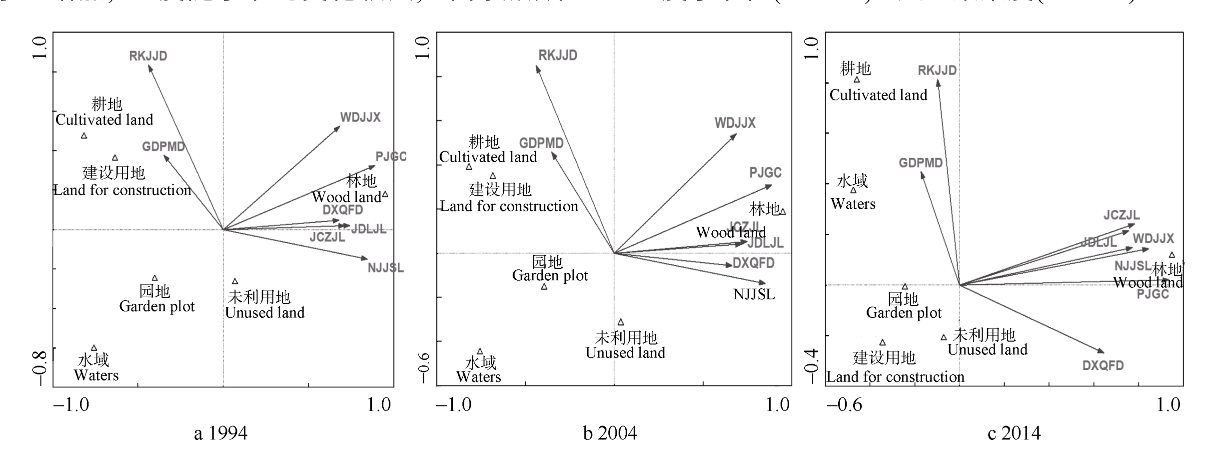


图 8　1994 年、2004 年和 2014 年土地利用类型与影响因子的典范对应分析

Fig. 8　Canonical Correspondence Analysis (CCA) maps of land use type and impact factors in Huailai County in 1994, 2004 and 2014

RKJJD: 人口聚集度; GDPMD: GDP 密度; DXQFD: 地形起伏度; PJGC: 平均高程; JDLJL: 距道路距离; JCZJL: 距城镇距离; NJJSL: 年均降水量; WDJJX: 温度季节性。RKJJD: population aggregation degree; GDPMD: GDP density; DXQFD: relief; PJGC: average elevation; JDLJL: distance from road; JCZJL: distance from town; NJJSL: annual precipitation; WDJJX: temperature seasonality.

表 5 1994 年、2004 年和 2014 年怀来县土地利用类型的影响因子与典范对应分析排序轴的相关系数表
Tab. 5 Correlation coefficients between impact factors of land use type and ordination axes in Huailai County in 1994, 2004 and 2014

年份 Year	排序轴 Ordination axe	平均高程 Average elevation	地形起伏度 Relief	年均降水量 Annual precipitation	温度季节性 Temperature seasonality	人口聚集度 Population aggregation degree	GDP 密度 GDP density	距道路距离 Distance from road	距城镇距离 Distance from town
1994	1	0.804 1	0.613 3	0.764 1	0.617 7	−0.396 9	−0.315 0	0.642 4	0.670 5
	2	0.188 5	0.027 6	−0.087 1	0.304 4	0.485 2	0.119 0	0.011 4	0.012 1
	3	−0.031 8	−0.244 3	0.098 3	0.051 6	−0.002 1	0.056 2	0.088 4	0.092 6
	4	−0.040 3	0.005 0	−0.027 6	−0.066 8	0.140 4	0.120 1	−0.053 3	−0.036 4
2004	1	0.803 0	0.601 2	0.770 3	0.622 7	−0.398 5	−0.319 1	0.649 2	0.677 2
	2	0.166 4	−0.030 2	−0.073 8	0.290 6	0.457 1	0.146 3	0.022 2	0.028 5
	3	0.002 3	0.209 1	−0.098 7	−0.044 4	0.095 6	0.191 2	−0.125 5	−0.1116
	4	−0.063 8	−0.153 6	0.048 9	−0.017 0	0.019 8	0.004 5	0.019 3	0.027 9
2014	1	0.851 8	0.587 8	0.769 3	0.702 9	−0.088 9	−0.156 7	0.689 0	0.712 4
	2	0.015 8	−0.199 8	0.107 1	0.110 6	0.605 4	0.233 8	0.160 3	0.180 6
	3	0.098 4	0.124 1	−0.172 6	0.148 1	0.205 3	0.121 8	−0.095 5	−0.098 2
	4	−0.012 0	−0.179 3	−0.009 5	0.084 1	0.051 9	0.055 9	−0.013 2	−0.009 0

度(0.233 8)、距道路距离(0.160 3)和距城镇距离(0.180 6)。沿第 2 轴从下到上，地形趋于平缓，年均降水量增加，温度随季节性变化多样，人口聚集程度和 GDP 提高，但距离城镇和主要道路的距离增加。地形起伏度和人口聚集度与排序轴第 3 轴相关性较大，相关性系数分别为 0.1241 和 0.1053。地形起伏度与第 4 轴相关性较大，相关系数为−0.179 3。

由图 8c 可知，第 1 轴主要代表平均高程的变化，各土地利用景观类型随高程的增加，林地和未利用地面积逐渐增加，且与平均高程呈正相关且相关性逐渐增加。同时耕地、建设用地、园地以及水域以及面积逐渐减少，与平均高程呈负相关性。第 2 轴主要反映各土地利用类型与人口聚集度的关系。与人口聚集程度呈正相关性的是耕地、水域和林地，呈负相关的是园地、建设用地和未利用地。

2.2 不同时期土地利用景观类型与影响因子的对比分析

从图 8 和表 5 可以看出，土地利用类型与各影响因子的关系随时间变化存在差异。对景观格局重要性影响程度最大的是平均高程，与第 1 轴的 3 个时期相关系数分别为 0.804 1、0.803 0 和 0.851 8。与第 2 轴相关性较大的为人口聚集度，3 个时期的相关系数分别为 0.485 2、0.457 1 和 0.605 4。由此可以看出平均高程和人口聚集度对研究区土地利用类型的分布影响较大。在不同时期内，地形起伏度、温度季节性、年均降水量、距道路距离和距城镇距离对研究区域土地利用景观类型分布的相关性也较大，相关性系数相对较高，随着研究时间的推移，地形起伏度相关性逐渐减小，其他 4 种影响因子的相关性逐渐增大。而 GDP 密度对土地利用景观类型的影响程度较小，与第 1 轴不同时期的相关系数分别为−0.315 0、−0.319 1 和−0.156 7，在怀来县不同研究时期，土地利用景观类型随 GDP 密度的变化不明显。

根据以上分析，运用典范对应分析方法，研究不同影响因子对土地利用类型产生的影响，并发现影响程度存在明显差异，对土地利用景观格局重要性影响较大的影响因子为：平均高程、地形起伏度、温度季节性、年均降水量、人口聚集度、距城镇距离和距道路距离。

3 结论

土地承载着人类的生命基础，其利用格局直接影响着区域内的生态安全，对于正处于城镇化和工业化快速发展的怀来县，土地如何合理并有效地利用将面临前所未有的挑战。本文基于遥感数据、数字高程数据等，对土地利用数据进行整理，研究景观格局动态演变过程，并对选择的影响因子进行响应分析，得出如下结论：

经过研究 1994 年、2004 年和 2014 年的 CCA 排序，可以发现前面的 4 个排序轴上累积土地利用类型数据与影响因子的解释量依次为 99.1%、99.3%和 99.3%，3 期的特征值总量分别为 0.780、0.720 和 0.853，从解释量数值上看 2004 年和 2014 年优于 1994 年，同时 2014 年的特征值明显高于前两个时期，其在描述土地利用类型与影响因子关系上体现出优越性。

对怀来县景观格局形成的主要影响因子进行了

排序和分析, 并发现选取的 8 个影响因子对整体土地利用景观格局的解释比例最低为 1994 年的 99.1%, 最高为 2012 年的 99.3%, 都具有较好的解释效果。影响因子在第 1 轴和第 2 轴作用上的分异较为明显, 自然影响因子在第 1 轴发挥影响作用, 人文影响因子在第 2 轴作用更显著。平均高程和人口聚集度分别在第 1 轴和第 2 轴对土地利用景观格局影响明显, 地形起伏度、温度季节性、年均降水量、距道路距离和距城镇距离影响较大。所以, 在土地利用过程中, 应该重点考虑影响程度较大的因子, 并采取相应的措施, 使土地利用更加合理, 使土地资源的发展更加稳定。

参考文献 References

[1] 唐艳鸿. 试探讨人类活动和全球变化对中国草原生态系统的物质循环和生物多样性的影响——兼简单介绍一个日中草原生态系统研究合作项目[C]//2000 年中国草地的环境效益研讨会. 北京: 中国高等科学技术中心, 2000: 4–5
Tang Y H. Impacts of global changes and human activities on the carbon budget and biodiversity of grassland ecosystem in China [C]//Ecological Services of Grassland in China. Proceedings of CCAST (World Laboratory) Workshop. Beijing: 2000: 4–5

[2] 汪德军. 中国城市化进程中的土地利用效率研究[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2008: 32–36
Wang D J. Research on the land usage efficiency in the Chinese urbanization process[D]. Shenyang: Liaoning University, 2008: 32–36

[3] 韩贵锋. 中国东部地区植被覆盖的时空变化及其人为因素的影响研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2007: 136–139
Han G F. Spatio-temporal change of vegetation cover in east China and influence of artificial factors[D]. Shanghai: East China Normal University, 2007: 136–139

[4] 龙健, 黄昌勇, 李娟. 喀斯特山区土地利用方式对土壤质量演变的影响[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 76–79
Long J, Huang C Y, Li J. Effects of land use on soil quality in karst hilly area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(1): 76–79

[5] 王宪礼, 肖笃宁, 布仁仓, 等. 辽河三角洲湿地的景观格局分析[J]. 生态学报, 1997, 17(3): 317–323
Wang X L, Xiao D N, Bu R C, et al. Analysis on landscape patterns of Liaohe delta wetland[J]. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(3): 317–323

[6] 王思远, 刘纪远, 张增祥, 等. 近 10 年中国土地利用格局及其演变[J]. 地理学报, 2002, 57(5): 523–530
Wang S Y, Liu J Y, Zhang Z X, et al. Spatial pattern change of land use in China in recent 10 years[J]. Acta Geographica Sinica, 2002, 57(5): 523–530

[7] 田光进, 刘纪远, 张增祥, 等. 基于遥感与 GIS 的中国农村居民点规模分布特征[J]. 遥感学报, 2002, 6(4): 307–312
Tian G J, Liu J Y, Zhang Z X, et al. The scale distribution characteristics of Chinese rural settlements by remote sensing and GIS[J]. Journal of Remote Sensing, 2002, 6(4): 307–312

[8] 左晓英. 基于 PSR 模型的耕地生态安全评价[D]. 保定: 河北农业大学, 2014: 12–13
Zuo X Y. Evaluation on cultivated land ecological security based on the PSR model[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2014: 12–13

[9] 娄秀荣, 沙奕卓. 1995 年夏季(6—8 月)气候对我国农业生产的影响[J]. 中国农业气象, 1995, 16(6): 50–52
Lou X R, Sha Y Z. The influence of climate on agricultural production in China in 1995 summer[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 1995, 16(6): 50–52

[10] 年波, 杨士剑, 王金亮. 植被遥感信息提取的最佳波段选择——以云岭中部山区为例[J]. 云南地理环境研究, 2004, 16(2): 18–21
Nian B, Yang S J, Wang J L. Methods on optimal bands selection in abstracting vegetation information[J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2004, 16(2): 18–21

[11] 张春来, 董光荣, 邹学勇, 等. 青海贵南草原沙漠化影响因子的贡献率[J]. 中国沙漠, 2005, 25(4): 511–518
Zhang C L, Dong G R, Zou X Y, et al. Contributing ratios of several factors to the steppe desertification in Guinan, Qinghai Province[J]. Journal of Desert Research, 2005, 25(4): 511–518

[12] 石玉胜. 海河流域土地利用/覆被与景观格局变化对地表蒸散量的影响研究[D]. 石家庄: 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 2009: 19–20
Shi Y S. Evaluating impacts of land use/cover and landscape pattern changes on evaporation in Hai River Basin[D]. Shijiazhuang: Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, 2009: 19–20

[13] 丁伟翠. 数字高程模型数据库管理系统开发及在地质制图中的应用[D]. 北京: 中国地质科学院, 2012: 22–23
Ding W C. DEM database management system development and it's application in geological mapping[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2012: 22–23

[14] 胡琴. 基于 GIS 北碚区土地利用景观格局影响分析[D]. 重庆: 西南大学, 2009: 13–16
Hu Q. The analysis of structure of landscape of land use in Beibei based on GIS[D]. Chongqing: Southwest University, 2009: 13–16

[15] Steens S C A, Admiraal-Behloul F, Bosma G P Th, et al. Selective gray matter damage in neuropsychiatric lupus[J]. Arthritis & Rheumatism, 2004, 50(9): 2877–2881

[16] 刘瑞卿. 基于 CA-Markov 模型的怀来县土地利用景观格局动态模拟研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2012: 7–9
Liu R Q. Study on dynamic simulation of land use and landscape pattern in Huailai County based on CA-Markov model[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei Province, 2012: 7–9

[17] 张海燕, 樊江文, 邵全琴. 2000—2010 年中国退牧还草工程区土地利用/覆被变化[J]. 地理科学进展, 2015, 34(7): 840–853
Zhang H Y, Fan J W, Shao Q Q. Land use/land cover change in the grassland restoration program areas in China, 2000–

2010[J]. Journal of Geographical Science, 2015, 34(7): 840–853

[18] 谢花林, 刘黎明, 李波, 等. 土地利用变化的多尺度空间自相关分析——以内蒙古翁牛特旗为例[J]. 地理学报, 2006, 61(4): 389–400
Xie H L, Liu L M, Li B, et al. Satial autocorrelation analysis of multi-scale land-use changes: A case study in Ongniud Banner, Inner Mongolia[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(4): 389–400

[19] 董春, 罗玉波, 刘纪平, 等. 基于 Poisson 对数线性模型的居民点与地理因子的相关性研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2005, 15(4): 79–84
Dong C, Luo Y B, Liu J P, et al. Study on correlation between residential points and geographical factors based on Pisson logarithm linearity model[J]. China Population, Resources and Environment, 2005, 15(4): 79–84

[20] 洪冬晨. 哈萨克斯坦土地利用景观格局演变及驱动因素分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2015
Hong D C. Landscape pattern evolution and driving factors of land use in Kazakhstan[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015

[21] 许丰. 格林函数样条插值和 S 变换在重、震数据处理中的应用[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013
Xu F. Application of Green’s function spline interpolation and S transform in the processing of gravity and seismic data[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2013

[22] 张玲玲, 史云飞, 刘玉华. 空间粒度变化对沂蒙山区景观格局指数的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(2): 459–464
Zhang L L, Shi Y F, Liu Y H. Effects of spatial grain change on the landscape pattern indices in Yimeng Mountain area of Shandong Province, East China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(2): 459–464

[23] 孙娟, 夏汉平, 蓝崇钰,等. 基于缓冲带的贵港市城市景观格局梯度分析[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 655–662
Sun J, Xia H P, Lan C Y, et al. A gradient analysis based on the buffer zones of urban landscape pattern of the constructed area in Guigang City, Guangxi, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(3): 655–662

[24] 俞龙生, 符以福, 喻怀义, 等. 快速城市化地区景观格局梯度动态及其城乡融合区特征——以广州市番禺区为例[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1): 171–180
Yu L S, Fu Y F, Yu H Y, et al. Landscape pattern gradient dynamics and desakota features in rapid urbanization area: A case study in Panyu of Guangzhou[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(1): 171–180

[25] 黄明. 分子标记与水稻遗传多样性及杂种优势的相关性研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010: 60–69
Huang M. Correlation analysis of molecular markers and genetic diversity and heterosis in rice[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2010: 60–69

[26] 陈凌静. 基于 GIS 支持下的土地利用景观梯度分析——以重庆市合川区为例[D]. 重庆: 西南大学, 2009: 50–56
Chen L J. Analysis of landscape gradient based on GIS — Take Hechuan District, Chongqing as example[D]. Chongqing: Southwest University, 2009: 50–56

[27] 钟昌标. 人文因素对城市化海域生态环境变化的影响与控制模式研究[M]. 北京: 经济科学出版社, 2010
Zhong C B. Influence of Human Factors on Ecological Environment Change of Urbanized Sea Area and the Control Mode[M]. Beijing: Economic Science Press, 2010

[28] 徐驰. 快速的城市化景观的格局动态与区域生态效应[D]. 南京: 南京大学, 2007: 43–47
Xu C. Landscape pattern dynamic and regional ecological effect of fast urbanizaiton[D]. Nanjing: Nanjing University, 2007: 43–47

[29] 刘小恺. 荒漠植物群落种群格局特征及格局相关性研究[D]. 南京: 南京大学, 2009: 50–54
Liu X K. Distribution pattern of desert plant communities and pattern correlation[D]. Nanjing: Nanjing University, 2009: 50–54

[30] Ter Braak C J F. Canonical correspondence analysis: A new eignvector technique for multivariate direct gradient analysis[J]. Ecology, 1986, 67(5): 1167–1179